

# МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ ФОТОСЪЁМКА С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТНОЙ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ

Шавкутенко Е.Н., Арапов С.Ю., Арапова С.П., Тарасов Д.А.

*ФГАОУ ВПО УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТИ*

Разработан и опробован экспериментальный программно-аппаратный комплекс для мультиспектральной съёмки, на основе широко распространённой цифровой камеры SONY NEX-5N и других доступных компонентов, в том числе светофильтров отечественного производства. Основная область применения комплекса — технологии репродукции изображений. Основное назначение комплекса — практическая апробация методов получения мультиспектральных изображений по спектральному снимкам. Приводятся полученные спектральные характеристики комплекса, описаны процессы получения спектральных снимков и калибровки комплекса. Формирование данных в предложенной методике эксперимента соответствует линейной модели, что позволяет использовать широкий круг методов решения обратных задач для получения мультиспектральных изображений.

Ключевые слова: мультиспектральная съёмка, поглощающие светофильтры, спектральная характеристика, спектрофотометр.

## MULTISPECTRAL IMAGE ACQUISITION USING A STANDARD DIGITAL CAMERA

Shavcutenko E.N., Arapov S.Y., Arapova S.P., Tarasov D.A.

Experimental hardware-software complex for multispectral imagery developed and tested. It is based on widespread digital camera SONY NEX-5N and other available components, including filters domestic production. Main field of application of this complex is image reproduction technologies. The main purpose of the complex — practical testing of methods for multispectral images using multispectral images. Given the spectral characteristics of the complex, described the processes of obtaining multispectral imagery and calibration of the complex. The formation of the data in the proposed experiment corresponds to the linear model, which allows using a wide range of methods for solving inverse problems to obtain multispectral images.

Keywords: multispectral imaging, absorbing filters, spectral response, spectrophotometer.

### Введение

Мультиспектральная цифровая фотосъёмка с последующей реконструкцией спектральных характеристик исследуемых объектов давно зарекомендовала себя как мощный аналитический инструмент в различных областях науки и техники. Начало активного применения зарубежными исследователями мультиспектральной цифровой фотографии в различных репродукционных задачах пришлось на конец 1990-х годов [4, 6]. Разработка систем мультиспектрального захвата изображений не потеряла актуальности и в настоящее время, причём в некоторых случаях речь идёт уже о системах реального времени [5, 8]. Рассматриваются также варианты их применения для контроля печатного процесса [2].

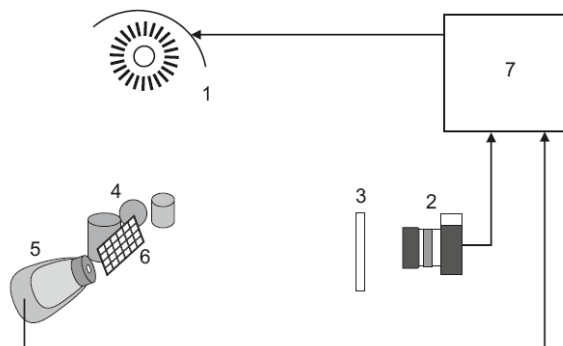
В отечественной литературе информации о результатах экспериментов, связанных с технологией мультиспектральной съёмки значительно меньше. Как правило, они посвящены дистанционному зондированию [1], где основной задачей является идентификация объектов, определение их размеров и границ. При этом точное определение собственно спектральных

характеристик отражения часто отходит на второй план. В задачах репродуцирования изображений напротив, приоритетным является получение спектра отражения.

Целью данного исследования является разработка программно-аппаратного комплекса, позволяющего на практике опробовать технические приёмы мультиспектральной съёмки и математические методы обработки результатов. Область применения комплекса — технологии репродуцирования изображений.

### Схема эксперимента

Разработанный комплекс состоит из традиционного набора компонентов: источник освещения, цифровая фотокамера, комплект поглощающих светофильтров, спектрофотометр, программное обеспечение. Схема представлена на рис. 1.

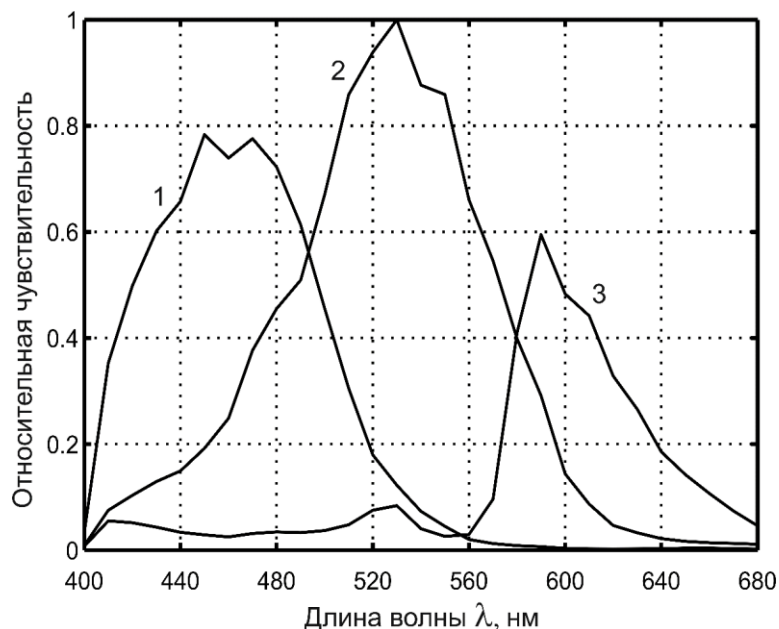


**Рис. 1. Схема эксперимента: 1 — управляемый источник освещения, 2 — цифровая фотокамера, 3 — сменный светофильтр, 4 — фотографируемые предметы, 5 — спектрофотометр i1-Pro, 6 — стандартная калибровочная шкала Color Checker (24 поля), 7 — компьютер и программное обеспечение**

Съёмку производили сеансами. Фотографируемые предметы размещали исходя из максимально возможной равномерности диффузного освещения. Для освещения зоны съёмки применялись как естественный рассеянный дневной свет, так и лабораторный источник собственной разработки. Освещённость в течение одного сеанса съёмки обеспечивалась на постоянном уровне и составляла в различных сеансах от 370 до 750 Люкс. Настройка фокусировки, экспозиции, и других параметров работы камеры осуществлялась в ручном режиме. Далее производился замер спектральных характеристик освещения в зоне съёмки спектрофотометром, после чего начиналась последовательная съёмка с ручной заменой фильтров в режиме автоспуска с задержкой. Параметры экспозиции при этом не изменялись. Полученные данные в виде RAW-файлов на карте памяти фотоаппарата и энергетического спектра освещения области съёмки передавались на компьютер для дальнейшей обработки.

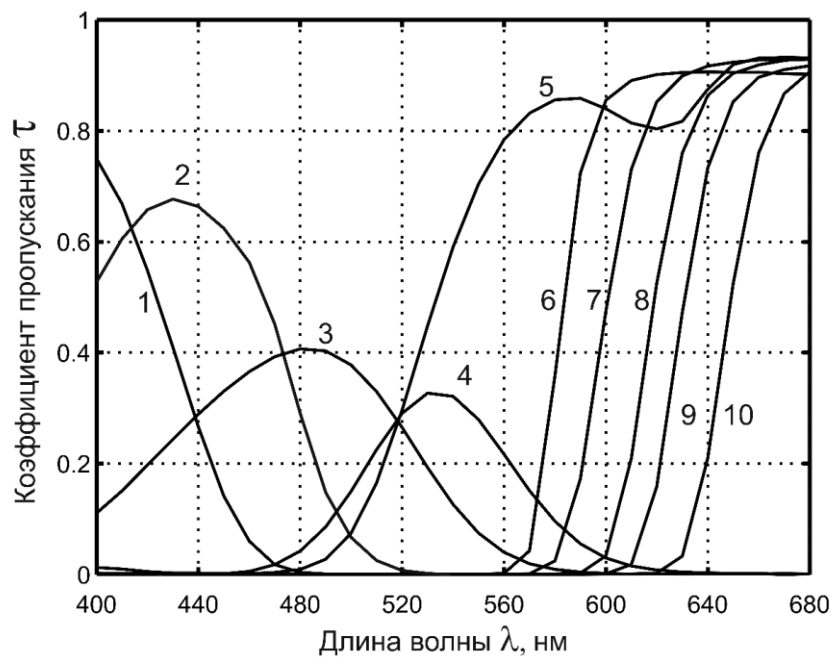
## Приборы, материалы и режимы работы

В качестве фоторегистрирующей системы была применена широко распространённая камера SONY NEX-5N. Спектральные характеристики сенсора данной камеры (рис. 2) получены из авторитетного открытого источника [7] Карлсоновского центра исследования изображений Рочестерского технологического института США.



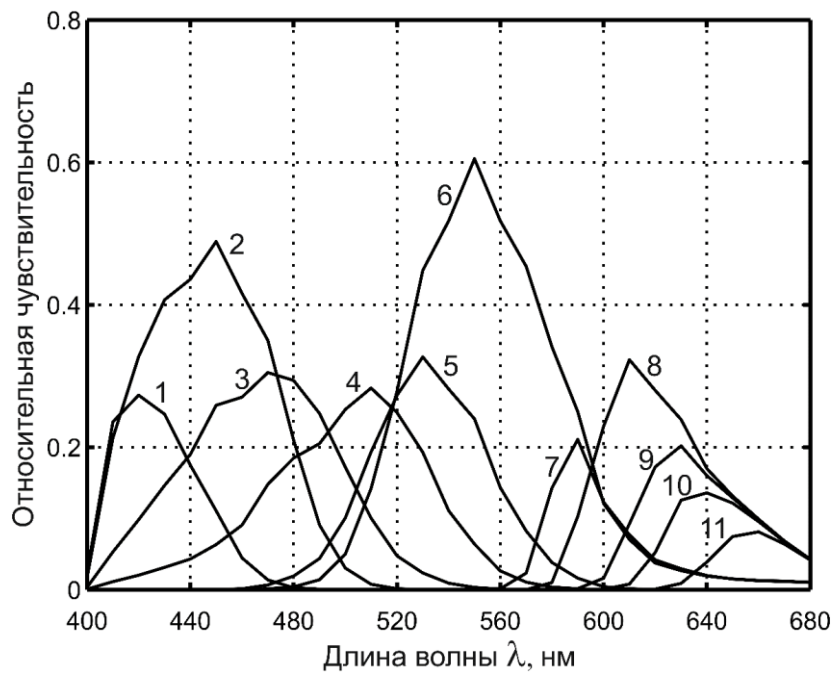
**Рис. 2. Относительная спектральная чувствительность элементов сенсора для камеры SONY NEX-5N: 1 — канал blue; 2 — канал green; 3 — канал red. Значения чувствительности нормированы на максимальное в канале green**

В качестве фильтров для съёмки использовались стёкла размером 80Н80 мм из набора цветных оптических стёкол производства ОАО «Лыткаринский завод оптического стекла». Полный набор содержит чуть менее 100 различных фильтров, из которых для работы были выбраны 10. В использованном наборе фильтры систематизированы по цветовым группам и имеют соответствующие сокращённые названия. Их спектральные характеристики приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Спектральные характеристики отобранных фильтров:**  
**1 — фиолетовое стекло ФС-6; 2 — синее СС-5; 3 — сине-зелёное СЗС-9;**  
**4 — зелёное ЗС-1; 5 — жёлтое ЖС-20; 6 — оранжевое ОС-14; красные стёкла: 7 — КС-**  
**10; 8 — КС-11; 9 — КС-13; 10 — КС-14**

Проблема оптимального отбора фильтров для мультиспектральной съёмки рассмотрена в [3, 7]. Если кратко обобщить имеющуюся информацию, то можно сказать, что для достижения наилучшего результата необходимо обеспечить максимальную взаимную ортогональность совокупности спектральных кривых парных произведений сенсоров мультиспектрального прибора. В дальнейшем будем называть такую совокупность спектральной характеристикой камеры (СХК) (рис. 4).



**Рис. 4. Спектральная характеристика камеры, образованная поточечным произведением кривых (рис. 2) и (рис. 3) для сочетаний фильтров: 1 — blue+ΦC-6; 2 — blue+CC-5; 3 — blue+C3C-9; 4 — green+C3C-9; 5 — green+3C-1; 6 — green+ЖC-20; 7 — green+OC-14; 8 — red+KC-10; 9 — red+KC-11; 10 — red+KC-13; 11 — red+KC-14 Чувствительности нормированы на ту же величину, что и для фильтров сенсора камеры (рис. 2)**

Несмотря на то, что в работах [3, 7] приводятся данные о достаточности 6–8 сенсоров для хороших результатов спектральной реконструкции, в нашем эксперименте использовалось 14 условных сенсоров, образованных сочетаниями фильтров (рис. 4) и фильтров камеры (рис. 2). Такое решение было принято с целью получения большего объема экспериментальных данных, полезного в качестве базы при разработке собственных методов восстановления спектров отражения.

### Методика калибровки и первичная обработка данных

Калибровка для каждого условного сенсора мультиспектральной системы производилась путём сопоставления рассчитанных показателей фотометрической яркости полей контрольной шкалы Color Checker, размещённой в снимаемой области, и соответствующих значений цифровых отсчётов, взятых из файлов TIFF.

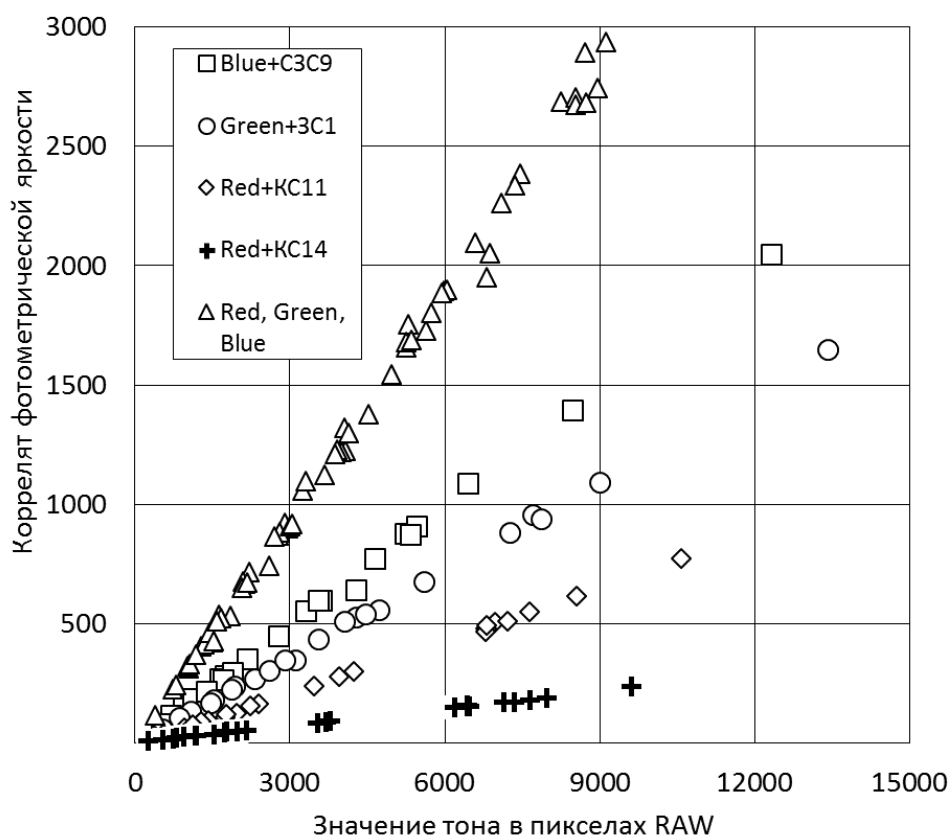
Для конвертации RAW в TIFF использовалась утилита из открытой программной библиотеки LibRaw. Вызов выглядит следующим образом: «4channels -A filename.arw». В результате получались четыре файла TIFF, соответствующих типам пиксельных фильтров Байеровской матрицы фотоаппарата (R, G, G2, B). Затем файлы импортировались в среду MATLAB, где производилось извлечение необходимых тоновых значений. При этом

производилось усреднение в пределах области снимка, примерно соответствующего размеру апертуры спектрофотометра i1-Pro (3 мм).

Расчётные значения показателей-коррелятов фотометрических яркостей  $b_{jk}$  для  $j$ -го поля и  $k$ -го условного сенсора получали по формуле:

$$b_{jk} = \sum_{i=1}^{29} \rho_{ij} S_{ik} L_i, \quad (1)$$

где  $i$  — номер спектральной зоны (всего 29 зон от 400 нм до 680 нм с шагом 10 нм),  $\rho_{ij}$  — спектральный коэффициент отражения  $j$ -го поля контрольной шкалы Color Checker,  $S_{ik}$  — спектральная чувствительность  $k$ -го условного сенсора (рис. 2 и 4),  $L_i$  — удельная спектральная мощность освещения предметов в кадре, измерявшаяся спектрофотометром i1-Pro. Выражение (1) по сути эквивалентно интегрированию по интервалу длин волн, в котором кривые СХК мультиспектральной камеры отличны от нуля. Пример сопоставления  $b_{jk}$  со значениями, извлечёнными из файлов RAW, приведён на рис. 5.



**Рис. 5. Соотношение между значениями коррелята яркости  $b_{jk}$ , рассчитанными по формуле (1) и соответствующими тоновыми значениями из RAW для семи из 14 условных сенсоров**

Таким образом, калибровка сводится к подбору коэффициентов линейных зависимостей показателей фотометрической яркости от тоновых значений в

соответствующих зонах RAW. Такой подбор производился стандартным Методом наименьших квадратов для каждого условного сенсора «фильтр + матрица» из набора кривых СХК. Для калибровки использовались значения только для нейтральных серых полей шкалы Color Checker (с 19 по 24), остальные данные применялись для восстановления спектральных зависимостей и оценки точности полученных результатов.

Формирование данных для применённой схемы мультиспектральной съёмки хорошо описывается простой линейной моделью [4–6, 8]:

$$b = Hr + \xi, \quad (2)$$

где  $b$  — вектор-столбец (14Н1) показателей яркости в точке изображения для всех условных сенсоров,  $H$  — матрица рассеяния (14Н29), образованная из значений кривых чувствительности сенсоров (рис. 2 и 4) поэлементно умноженных на спектр освещения,  $r$  — вектор-столбец (29Н1) искомого спектра отражения,  $\xi$  — вектор-столбец (14Н1) случайного шума сенсоров. Соответствие рассматриваемого комплекса линейной модели (2) следует из линейного характера зависимостей на рис. 5, там же можно наблюдать наличие некоторого ненулевого уровня шумов. Таким образом к полученным данным применимы многочисленные методы решения линейных обратных задач.

## Выводы

В результате работы был разработан и опробован экспериментальный программно-аппаратный комплекс для мультиспектральной съёмки на основе распространённых и доступных компонентов, в том числе светофильтров отечественного производства. Разработанный комплекс позволяет экспериментально опробовать различные методы определения спектров отражения в снимаемой области. Так же комплекс может быть использован в качестве элемента системы мультиспектрального репродуцирования.

## Список литературы

1. Модели формирования и некоторые алгоритмы обработки гиперспектральных изображений / Р.Н. Ахметов [и др.] // Исследование Земли из космоса .— 2014 .— № 1 .— С. 17–28.7. [www.cis.rit.edu\\_jwgu\\_research\\_camspec\\_db.php](http://www.cis.rit.edu_jwgu_research_camspec_db.php).
2. Comparative performance analysis of spectral estimation algorithms and computational optimization of a multispectral imaging system for print inspection / E.M. Valero [et al.] // Color Research & Application .— 2014 .— Volume 39 .— Issue 1 .— P. 16–27.

3. Hardeberg, J.Y. (2003). Filter Selection for Multispectral Color Image Acquisition / J.Y.Hardeberg // Information Systems & Technology : PICS Conference, Rochester, NY.– Springfield, 2003 .– P. 177–181.
  
4. Imai, F.H. Spectral estimation using trichromatic digital cameras / F.H. Imai, R.S. Berns // Proceedings of the Internat. Symposium on Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives : Society of Multispectral Imaging of Japan .– Chiba, 1999 .– P. 42–48.
  
5. Masahiro, Y. Beyond Red–Green–Blue (RGB): Spectrum-Based Color Imaging Technology / Y. Masahiro, H. Hideaki, O. Nagaaki // J. Imaging Sci. Technol. .– 2008 .– № 52 (1) .– P. 10201-1–10201-15.
  
6. Multispectral image acquisition and simulation of illuminant changes / J.Y. Hardeberg [et al.] // Colour Imaging: Vision and Technology / ed. by L. W. MacDonald and R. Luo .– Wiley, 1999 .– P. 145–164.
  
7. Multispectral Imaging: How Many Sensors Do We Need? / David Connah, Ali Alsam, Jon Y. Hardeberg // Journal of Imaging Science and Technology .– 2006 .– Volume 50 .– Number 1 .– P. 45–52.
  
8. Real-Time Multispectral Rendering with Complex Illumination / B. Darling [et al.] // Color and Imaging Conference : 19th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings .– San Jose, California .– 2011 .– P. 345–351).